

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G02F 1/39

G02F 1/383

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 01123217. X

[43] 公开日 2002 年 2 月 6 日

[11] 公开号 CN 1334484A

[22] 申请日 2001.7.20 [21] 申请号 01123217. X

[30] 优先权

[32] 2000.7.21 [33] JP [31] 220967/2000

[71] 申请人 住友电气工业株式会社

地址 日本大阪

[72] 发明人 津崎哲文 村崎清孝

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事
务所

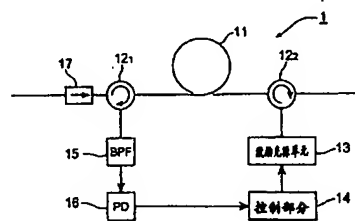
代理人 杜日新

权利要求书 4 页 说明书 20 页 附图页数 10 页

[54] 发明名称 拉曼放大器

[57] 摘要

从激励光源单元 13 输出的拉曼放大用激励光, 经由光环行器 12₁ 供给拉曼放大用光纤 11。残留的拉曼放大用激励光, 通过光环行器 12₁ 和带通滤波器 15 由受光电元件 16 检测出。到达拉曼放大器 1 的光信号经拉曼放大用光纤 11 传播, 同时被放大。控制部 14, 根据受光电元件 16 测得的残留拉曼放大用激励光功率, 控制激励光源单元 13 中包括的 N 个激励光源分别输出的拉曼放大用激励光功率或波谱形状。由此, 获得在光信号波段内控制增益波谱平坦化容易的拉曼放大器。



ISSN 1008-4274

1 一种拉曼放大器, 其特征是包括:

5 传输光信号、同时通过供给拉曼放大用激励光对上述光信号进行拉曼放大的拉曼放大用光纤, 和

输出光的波谱具有 N ($N \geq 1$) 个非单峰型的激励光源, 将从这些 N 个激励光源输出的光作为上述拉曼放大用激励光供给拉曼放大用光纤的拉曼放大用激励光供给装置。

2 根据权利要求 1 所述的拉曼放大器, 其特征是还具备:

10 检测以上述拉曼放大用光纤传播后残留的上述拉曼放大用激励光功率的残留激励光功率检测装置, 和

根据用上述残留激励光功率检测装置测出的上述拉曼放大用激励光功率, 控制从上述 N 个激励光源分别输出的拉曼放大用激励光功率的控制装置。

15 3 根据权利要求 1 所述的拉曼放大器, 其特征是还具备:

检测以上述拉曼放大用光纤传播后的各波长光信号强度的光信号强度检测装置, 和

20 根据用上述光信号强度检测装置测出的各波长光信号的强度, 控制从上述 N 个激励光源分别输出的拉曼放大用激励光功率的控制装置。

4 根据权利要求 1 所述的拉曼放大器, 其特征是还具备:

检测上述拉曼放大用光纤长度方向损耗分布的光纤损耗分布检测装置, 和

25 根据用上述光纤损耗分布检测装置测出的上述拉曼放大用光纤长度方向的损耗分布, 控制从上述 N 个激励光源分别输出的拉曼放大用激励光功率的控制装置。

5 根据权利要求 1 所述的拉曼放大器, 其特征是还具备:

检测与上述光信号同时传输的导频光以上述拉曼放大用光纤传播后的强度的导频光强度检测装置, 和

01.07.20

根据用上述导频光强度检测装置测出的导频光强度，控制从上述 N 个激励光源分别输出的拉曼放大用激励光功率的控制装置。

6 根据权利要求 1 所述的拉曼放大器，其特征是还具备：

检测输入上述拉曼放大用光纤的输入光信号功率的输入光信号功率检测装置，和

检测从上述拉曼放大用光纤 输出光信号功率的输出光信号功率检测装置，

根据用上述输入光信号功率检测装置测出的输入光信号的功率和用上述输出光信号功率检测装置测出的输出光信号的功率，控制从上述 N 个激励光源分别输出的拉曼放大用激励光功率的控制装置。

7 根据权利要求 1 所述的拉曼放大器，其特征是还具备：

检测输入上述拉曼放大用光纤的光信号波长的光信号波长检测装置，和

根据用上述光信号波长检测装置测出的光信号的波长，控制是否上述 N 个激励光源分别输出的拉曼放大用激励光功率的控制装置。

8 一种拉曼放大器，其特征是包括：

传输光信号，同时通过供给拉曼放大用激励光对上述光信号进行拉曼放大的拉曼放大用光纤；

输出光的波谱具有 N 个 ($N > 1$) 可控制的激励光源，将从这些 N 个激励光源输出的光作为上述拉曼放大用激励光供给拉曼放大用光纤的拉曼放大用激励光供给装置；和

控制从上述 N 个激励光源分别输出的拉曼放大用激励光波谱的控制装置。

9 根据权利要求 8 所述的拉曼放大器，其特征是还具备：

检测以上述拉曼放大用光纤传播后残留的上述拉曼放大用激励光功率的残留激励光功率检测装置，和

根据用上述残留激励光功率检测装置测出的上述拉曼放大用激

励光功率，控制从上述 N 个激励光源分别输出的拉曼放大用激励光功率的控制装置。

10 根据权利要求 8 所述的拉曼放大器，其特征是还具备：

5 检测以上述拉曼放大用光纤传播后的各波长光信号强度的光信号强度检测装置，

上述控制装置根据用上述光信号强度检测装置测出的各波长光信号的强度，控制从上述 N 个激励光源分别输出的拉曼放大用激励光功率。

11 根据权利要求 8 所述的拉曼放大器，其特征是还具备：

10 检测上述拉曼放大用光纤长度方向损耗分布的光纤损耗分布检测装置，

上述控制装置根据用上述光纤损耗分布检测装置测出的上述拉曼放大用光纤长度方向的损耗分布，控制从上述 N 个激励光源分别输出的拉曼放大用激励光波谱。

15 12 根据权利要求 8 所述的拉曼放大器，其特征是还具备：

检测与上述光信号同时传输的导频光以上述拉曼放大用光纤传播后的强度的导频光强度检测装置，

上述控制装置根据用上述导频光强度检测装置测出的导频光强度，控制从上述 N 个激励光源分别输出的拉曼放大用激励光波谱。

20 13 根据权利要求 8 所述的拉曼放大器，其特征是还具备：

检测输入上述拉曼放大用光纤的输入光信号功率的输入光信号功率检测装置，和

检测从上述拉曼放大用光纤 输出光信号功率的输出光信号功率检测装置，

25 上述控制装置根据用上述输入光信号功率检测装置测出的输入光信号的功率和用上述输出光信号功率检测装置测出的输出光信号的功率，控制从上述 N 个激励光源分别输出的拉曼放大用激励光波谱。

14 根据权利要求 1 所述的拉曼放大器，其特征是还具备：

01.07.20

检测输入上述拉曼放大用光纤的光信号波长的光信号波长检测装置，

上述控制装置根据用上述光信号波长检测装置测出的光信号的波长，控制从上述 N 个激励光源分别输出的拉曼放大用激励光功率。

15 根据权利要求 1 或 8 所述的拉曼放大器，其特征是上述 N 个激励光源的任何一个都具有：在光波导区域掺杂稀土元素的掺杂稀土族元素光纤，和将激励该稀土族元素的稀土族元素激励光供给上述掺杂稀土族元素光纤的稀土族元素激励光供给装置；以及

10 将随着由上述稀土族元素激励光供给装置供给稀土族元素激励光，上述掺杂稀土族元素光纤中产生并放大的自然发射光作为上述拉曼放大用激励光。

16 根据权利要求 15 所述的拉曼放大器，其特征是上述掺杂稀土族元素光纤是多段连接的。

15 17 根据权利要求 15 所述的拉曼放大器，其特征是上述 N 个激励光源的任何一个还包括光滤波器，用于调整作为拉曼放大用激励光向上述拉曼放大用光纤供给的上述放大的自然发射光波谱。

拉曼放大器

5 发明领域

本发明涉及一种使用光信号进行通信的光通信系统中光信号被光传输线路传输时，用拉曼放大法补偿蒙受传输损耗的拉曼放大器。

背景技术

10 在使用光信号进行通信的光通信系统中，从发送器发射的光信号，在以光传输线路传输之际蒙受传输损耗，使到达接收器时功率减少。到达接收器的光信号功率如果低于规定值，就可能因接收错误而发生正常进行光通信的情况。因此，通过在发送器与接收器之间设置光放大器，用该光放大器对光信号进行放大，以便光信号
15 以光传输线路传输时对蒙受的传输损耗进行补偿。

对这种光放大器来说，就有使用添加了稀土族元素的放大用光纤的添加稀土族元素光纤放大器（例如，添加 Er 元素光纤放大器）和利用拉曼放大用光纤中的拉曼放大现象的拉曼放大器。与添加稀土族元素光纤放大器比较的话，拉曼放大器是具有通过适当设定拉
20 曼放大用激励光的波长，可将具有增益的波段变成规定的波段等特征。

并且，在使规定的光信号波段内的多波长光信号多路化进行光通信的波分复用（WDM: Wavelength Division Multiplexing）光通信系统中，重要的是该光信号波段的光放大器增益波谱平坦。不
25 然的话，光信号波段内的某波长光信号即使用接收器正常接收，也因为增益小的其它波长光信号有时发生接收错误。因此，需要研究使拉曼放大器的增益波谱平坦化的技术。

例如，文献 1 “Y.Emori,et al., ‘100nm bandwidth flat gain Raman amplifiers pumped and gain-equalized by 12-wavelength-channel

WDM high power laser diodes', OFC'99, PD19(1999)中记载的拉曼放大器的增益平坦化技术, 把从 N 个 ($N > 2$) 激励光源分别输出的光合波, 作为拉曼放大用激励光源供给拉曼放大用光纤。而且, 通过适当设定 N 个激励光源的各自输出中心波长和输出功率, 谋求拉曼放大器的增益波谱平坦化。文献 1 中, 规定了激励光源的个数 N 为 12。

并且, 文献 2 "F.Koch, et al., 'Broadbandw gain flattened Raman amplifiers to extend operation in the telecommunication window', OFC'2000, ThD, FF3(2000)" 中记载的拉曼放大器的增益平坦化技术, 通过设置具有与拉曼放大用光纤的增益波谱大致相同形状的损耗波谱的增益均衡器, 谋求拉曼放大器的增益波谱平坦化。

本发明概述

可是, 上述的现有拉曼放大器的增益平坦化技术有以下这样的问题。即, 在进行长距离光通信的光通信系统中, 有时相应地在发送器与接收器之间配备 M 个 ($M > 2$) 的拉曼放大器。这时, 若采用文献 1 中所记载的增益平坦化技术, 则整个光通信系统需要的激励光源总数变成了 $M \times N$ 个, 必须分别控制如此之多的激励光源的输出功率, 控制拉曼放大器的增益波谱平坦化就很不容易。

而且, 对采用文献 2 中记载的增益平坦化技术的拉曼放大器而言, 就是一边在拉曼放大用光纤中对光信号进行放大, 一边在增益均衡器中使下光信号衰减。所以, 必须控制该增益均衡器的损耗波谱, 同样, 控制拉曼放大器的增益波谱平坦化也不容易。

本发明就是为了解决上述问题而作出的发明, 其目的是提供一种在光信号波段内控制增益波谱平坦化容易的拉曼放大器。

本发明的拉曼放大器是以具备 (1) 传输光信号, 同时通过供给拉曼放大用激励光对光信号进行拉曼放大的拉曼放大用光纤, 和 (2) 输出光的波谱具有 N 个非单峰型的激励光源, 将从这 N 个激励光源输出的光作为拉曼放大用激励光供给拉曼放大用光纤的拉曼放大用激励光供给装置为特征。

采用该拉曼放大器，则从具有 N 个激励光源的拉曼放大用激励光供给装置将拉曼放大用激励光供给拉曼放大用光纤。而且，从以该拉曼放大用光纤传输光信号的同时进行拉曼放大。也就是，光信号以拉曼放大用光纤传输时，通过拉曼放大补偿蒙受的传输损耗。

5 特别是，本拉曼放大器是拉曼放大用激励光供给装置中包括 N 个激励光源输出光的波谱为非单峰型，而与现有技术栏中举出的文献 1 比较，能够减少激励光源的个数，因而容易控制增益波谱的平坦化。而且，本拉曼放大器不使用增益均衡器就可以使增益波谱平坦化，因而与现有技术栏中举出的文献 2 比较，仍然容易控制增益波谱的平坦化。

10 另外，所谓“波谱为非单峰型”，不仅是指输出功率变成最大的波长另外存在变成极大的波长，而且意味着变成最大或极大的波长互相离开 5nm 以上。并且，从输出功率的观点来看，所谓“单峰型”就是在将波长分辨率设定为 0.5nm 以上时所得的光波谱中，对输出功率变成最大的峰值，峰值功率之差为 5dB 以下或 10dB 以下，就是不具有与最大峰值波长分开 5nm 以上的极大峰，不满足此条件的波谱就是“非单峰型”。

15 本发明的另一种拉曼放大器是以具备 (1) 传输光信号，同时通过供给拉曼放大用激励光对光信号进行拉曼放大的拉曼放大用光纤；(2) 输出光的波谱具有 N 个可控制 (可变的) 的激励光源，将从这 N 个 ($N \geq 1$) 激励光源输出的光作为拉曼放大用激励光供给拉曼放大用光纤的拉曼放大用激励光供给装置；和 (3) 控制分别从 N 个激励光源输出的拉曼放大用激励光波谱的控制装置为特征。

25 采用该拉曼放大器，则从具有 N 个激励光源的拉曼放大用激励光供给装置将拉曼放大用激励光供给拉曼放大用光纤。而且，通过以该拉曼放大用光纤传输光信号的同时进行拉曼放大。也就是，光信号被以拉曼放大用光纤传输时，通过拉曼放大补偿蒙受的传输损耗。

特别是，本拉曼放大器在拉曼放大用激励光供给装置中包括有 N

个激励光源输出光的波谱是可变的并用控制装置进行控制，而与现有技术栏中举出的文献 1 比较，能够减少激励光源的个数，因而容易控制增益波谱的平坦化。而且，本拉曼放大器不使用增益均衡器就可以使增益波谱平坦化，因而与现有技术栏中举出的文献 2 比较，也容易控制增益波谱的平坦化。

附图的简要说明

图 1 是第 1 实施例的拉曼放大器的构成图。

图 2 是拉曼放大器的激励光源单元的构成图。

图 3 是拉曼放大器的激励光源单元中包括的各激励光源构成图。

图 4A ~ 图 4C 是说明拉曼放大器的激励光源单元中包括的个激励光源输出波谱的控制方式图。

图 5A ~ 图 5D 是说明拉曼放大用激励光的波谱与拉曼放大的增益波谱之间的关系图。

图 6 是第 2 实施例的拉曼放大器的构成图。

图 7 是第 3 实施例的拉曼放大器的构成图。

图 8 是第 4 实施例的拉曼放大器的构成图。

图 9 是第 5 实施例的拉曼放大器的构成图。

图 10 是第 6 实施例的拉曼放大器的构成图。

实现发明的最佳方式

以下，参照附图详细说明本发明的实施例。另外，附图的说明中，对同一构件给予同一的标号，并省略重复的说明。

(第 1 实施例)

首先，说明本发明的拉曼放大器的第 1 实施例。图 1 是第 1 实施例的拉曼放大器 1 的构成图。该拉曼放大器 1 配备有拉曼放大用光纤 11、光环行器 12₁、12₂、激励光源单元 13、控制部 14、带通滤波器 15、光电元件 16 和单向波导 17。

拉曼放大用光纤 11 由光环行器 12₂ 供给拉曼放大用激励光，从光环行器 12₁ 向光环行器 12₂ 传输光信号，同时对该光信号进行拉曼

放大。单向波导 17 仅仅正向通过光而反向不让光通过。光环行器 12₁ 把从拉曼放大用光纤 11 到达的光信号向拉曼放大用光纤 11 输出，同时把从拉曼放大用光纤 11 到达的光往带通滤波器 15 输出。光环行器 12₂ 把从拉曼放大用光纤 11 到达的光信号向后级输出，同时把从激励光源单元 13 到达的拉曼放大用激励光向拉曼放大用光纤 11 输出。

带通滤波器 15 输入从光环行器 12₁ 来到的光信号，并输出该光信号中特定波长的光信号。光电元件 16 接收从带通滤波器 15 输出的特定波长的光信号，输出与其受光量相应值的电信号。

10 激励光源单元 13 具有 N 个 ($N \geq 1$) 激励光源，将从这些 N 个激励光源输出的光作为拉曼放大用激励光进行输出。各个激励光源输出光的波谱为非单峰型，或者，可变波谱是可控制的。控制部 14 根据光电元件 16 输出的电信号，控制由激励光源单元 13 输出的拉曼放大用激励光的功率，或者，控制波谱（取决于激励光的波长）。

15 图 2 是第 1 实施例的拉曼放大器 1 的激励光源单元 13 构成图。激励光源单元 13 具有 N 个发光元件 131₁ ~ 131_N、 N 个光纤光栅 132₁ ~ 132_N 和合波器 133。发光元件 131_n 和光纤光栅 132_n 的一个组构成一个激励光源（ n 是 1 以上， N 以下的任意整数。以下同样）。而且，合波器 133 把分别从 N 个激励光源输出的光进行合波，将其合波后的光输出作为拉曼放大用激励光。

20 图 3 是第 1 实施例拉曼放大器 1 的激励光源单元 13 中包括有的各激励光源的构成图。光纤光栅 132_n 在光纤的光波导区形成折射率调制，并对向设置在与光电元件 131_n 的一个端面之间以便可能进行光的入出射，在与光电元件 131_n 的另一个端面之间构成谐振器。具有这种谐振器构造的激励光源输出光的波谱就与发光元件 131_n 的自然发射光的波谱和光纤光栅 132_n 的反射波谱相适应。

25 就是，通过适当设计光纤光栅 132_n 的反射波谱，就能够把激励光源输出光的波谱成为非单峰型。并且，如图 3 所示，设置温度调整装置（例如加热器或珀耳帖器件）134_{n1} ~ 134_{n3}，通过调整光纤光

栅 132n 的温度来调整反射波谱, 如图 4A~图 4C 中示出该例的那样, 能够控制激励光源输出光的波谱形状。

图 5A~图 5D 是说明拉曼放大用激励光的波谱与拉曼放大的增益波谱之间的关系图。例如, 光信号若为波长 $1.55\mu\text{m}$ 波段的光, 则拉曼放大用激励光的波长为 $1.45\mu\text{m}$ 附近。拉曼放大用光纤 11 中的拉曼放大的增益波谱取决于拉曼放大用激励光的功率和波谱。当拉曼放大用激励光为波长 λ_1 的单色光和功率 P_1 时, 规定增益波谱就是如图 5A 所示的曲线, 当拉曼放大用激励光为波长 λ_2 的单色光和功率 P_2 时, 规定增益波谱就是如图 5B 所示的曲线。

这时, 如图 5C 所示, 如对波长 λ_1 功率 P_1 的拉曼放大用激励光和波长 λ_2 功率 P_2 的拉曼放大用激励光进行合波并供给拉曼放大用光纤 11, 增益波谱就变成复合图 5A 中示出的增益波谱和图 5B 中示出的增益波谱曲线。并且, 如图 5D 所示, 当具有与图 5C 中示出的激励光波谱大致同样的激励波谱的拉曼放大用激励光供给拉曼放大用光纤 11 时, 增益波谱也变成与复合图 5A 中示出的增益波谱和图 5B 中示出的增益波谱大致同样的增益波谱。具有图 5C 或图 5D 示出的激励光波谱的拉曼放大用激励光已经用图 3 和图 4A~图 4C 可由说过的激励光源输出。

下面, 说明第 1 实施例的拉曼放大器 1 的工作。从激励光源单元 13 输出的拉曼放大用激励光, 经光环行器 12_2 供给拉曼放大用光纤 11。即, 激励光源单元 13 和光环行器 12_2 作为把拉曼放大用激励光供给拉曼放大用光纤 11 的拉曼放大用激励光供给装置进行工作。

以拉曼放大用光纤 11 传播后的残留拉曼放大用激励光, 经光环行器 12_1 射入带通滤波器 15, 其中特定波长的激励光透过带通滤波器 15 用光电元件 16 检测其功率。就是, 光环行器 12_1 、带通滤波器 15 和光电元件 16 作为检测以拉曼放大用光纤 11 传播后的残留拉曼放大用激励光的功率的残留激励光功率检测装置而进行工作。

另一方面, 到达该拉曼放大器 1 的光信号经过单向波导 17 和光环行器 12_1 后, 射入拉曼放大用光纤 11。而且, 光信号以拉曼放大

用光纤 11 传播的同时，在传播时进行拉曼放大，经由光环行器 12₂ 向后级输出。还有，理想的是以拉曼放大用光纤 11 传播的光信号，在拉曼放大用光纤 11 的各个地点具有可抑制发生非线性光学现象的有限功率。

5 而且，借助于控制部 14 控制从激励光源单元 13 中包括的 N 个激励光源分别输出的拉曼放大用激励光功率，进而控制其波谱的形状。这时，控制拉曼放大用激励光的功率或波谱的形状，使得在拉曼放大用光纤 11 的光信号的拉曼放大增益波谱，在光信号波段内平坦而且维持恒定。在本实施例中，根据用光电元件 16 检测出的残留
10 拉曼放大用激励光的功率，通过从激励光源单元 13 中包括的 N 个激励光源分别输出的拉曼放大用激励光的控制部 14 进行控制。

如上所述，在本实施例的拉曼放大器 1 中，激励光源单元 13 所包括的 N 个激励光源输出光的波谱为非单峰型，或者，N 个激励光源输出光的波谱是可变的。而且，根据用光电元件 16 检测出的残留
15 拉曼放大用激励光功率，通过用控制部 14 控制拉曼放大用激励光的功率或波谱，使拉曼放大用光纤 11 中光信号的拉曼放大增益波谱，在光信号波段内维持平坦或恒定。

在本实施例的拉曼放大器 1，通过采用具有上述这种输出波谱的激励光源，与现有技术栏中举出的文献 1 的拉曼放大器比较，可以
20 减少激励光源个数。因此，容易控制增益波谱的平坦化，并且价格变得便宜。在本实施例的拉曼放大器 1 就是不使用增益均衡器也能使增益波谱平坦，因而与现有技术栏的文献 2 的拉曼放大器比较，同样，控制增益波谱的平坦化也容易，并且，激励效率优良。

另外，在本实施例中，并没有设置带通滤波器 15，也可以用光
25 电元件 16 检测残留拉曼放大用光纤整个的功率。并且，也可以使用光学玻璃代替光环行器 12₁、12₂。并且，不是后方向激励，而是前方向激励也可以，双方向激励也行。

(第 2 实施例)

接着，说明本发明的拉曼放大器的第 2 本实施例。图 6 是第 2

实施例的拉曼放大器 2 的构成图。该拉曼放大器 2 包括拉曼放大用光纤 21、光学玻璃 22₁~22₃、激励光源单元 23₁、23₂、控制部 24、AWG (Arrayed-Waveguide Grating: 阵列式波导光栅) 25 和光电元件 26。

5 拉曼放大用光纤 21 分别由光学玻璃 22₁ 和光学玻璃 22₂ 供给拉曼放大用激励光，并从光学玻璃 22₁ 向光学玻璃 22₂ 传播光信号，同时对该光信号进行拉曼放大。光学玻璃 22₁ 将到达该拉曼放大器 2 的光信号向拉曼放大用光纤 21 输出，同时也将从激励光源单元 23₁ 到达的拉曼放大用激励光向拉曼放大用光纤 21 输出。光学玻璃 22₂ 将从
10 拉曼放大用光纤 21 到达的光信号向光学玻璃 22₃ 输出，同时将从激励光源单元 23₂ 到达的拉曼放大用激励光向拉曼放大用光纤 21 输出。

光学玻璃 22₃ 将从光学玻璃 22₂ 到达的大部分光信号向后级输出，同时将其一部分光信号进行分支而向 AWG25 输出。AWG25 输入从光学玻璃 22₃ 到达的光信号并进行分波，输出分波后的各波长的
15 光信号。光电元件 26 接收从 AWG25 输出的各波长的光信号，输出与其受光量相应值的电信号。

激励光源单元 23₁、23₂ 具有 N 个激励光源，并将 N 个激励光源输出的光作为拉曼放大用激励光进行输出。各个激励光源输出光的
20 波谱是非单峰型，或者，是可变的。控制部 24 根据光电元件 26 输出的电信号，控制激励光源单元 23₁、23₂ 输出的拉曼放大用激励光功率，或者控制波谱。另外，在本实施例中的激励光源单元 23₁、23₂ 与用图 2、图 3 和图 4A~图 4C 说过的单元同样。

下面，说明第 2 实施例的拉曼放大器 2 的工作。激励光源单元
25 23₁ 输出的拉曼放大用激励光经由光学玻璃 22₁ 供给拉曼放大用光纤 21。而且，激励光源单元 23₂ 输出的拉曼放大用激励光经由光学玻璃 22₂ 供给拉曼放大用光纤 21。即，激励光源单元 23₁、23₂ 和光学玻璃 22₁、22₂ 作为将拉曼放大用激励光供给拉曼放大用光纤 21 的拉曼放大用激励光供给装置而工作。

到达该拉曼放大器 2 的光信号，经过光学玻璃 22₁ 以后，射入拉曼放大用光纤 21。而且，光信号以拉曼放大用光纤 21 传播的同时，在其传播时进行拉曼放大，并经过光学玻璃 22₂ 和光学玻璃 22₃ 向后级输出。还有，理想的是以拉曼放大用光纤 21 传播的光信号，在拉曼放大用光纤 21 的各地点具有能抑制发生非线性光学现象的有限功率。

以拉曼放大用光纤 21 传播后的一部分光信号，经由光学玻璃 22₃ 射入 AWG25，用 AWG25 进行分波并用光电元件 26 检测各波长的光信号强度。即，光学玻璃 22₃、AWG25 和光电元件 26 作为以拉曼放大用光纤 21 传播后检测各波长光信号的光信号强度检测装置进行工作。

而且，借助于控制部 24，根据光电元件 26 检测出的各波长光信号强度，控制分别从激励光源单元 23₁、23₂ 中包括的 N 个激励光源输出的拉曼放大用激励光功率，进而控制波谱的形状。这时，控制拉曼放大用激励光的功率或波谱的形状，使得拉曼放大用光纤 21 中光信号的拉曼放大增益波谱，在光信号波段内维持平坦而且恒定。

如上所述，在本实施例的拉曼放大器 2 中，激励光源单元 23₁、23₂ 中包括的 N 个激励光源输出光的波谱为非单峰型，或者，N 个激励光源输出光的波谱可变。而且，根据用光电元件 26 检测出的各波长光信号强度，通过用控制部 24 控制拉曼放大用激励光的功率或波谱，使拉曼放大用光纤 21 的光信号的拉曼放大增益波谱，在光信号波段内维持平坦而且恒定。

通过本实施例的拉曼放大器 2 采用具有上述这样的输出波谱的激励光源，与现有技术栏中举出的文献 1 比较，可以减少激励光源个数。因此，容易控制增益波谱的平坦化，并且价格变得便宜。在本实施例的拉曼放大器 2 就是不使用增益均衡器也能使增益波谱平坦，因而与现有技术栏的文献 2 比较，同样，控制增益波谱的平坦化也容易，并且，激励效率优良。

并且，在本实施例中，光学玻璃 22₃、AWG25 和光电元件 26 也

01.07.20

作为检测输入该拉曼放大器 2 的光信号波长的光信号波长检测装置而进行工作。而且，借助于控制部 24，根据检测出的光信号波长，分别控制激励光源单元 23₁、23₂中包括的 N 个激励光源是否输出拉曼放大用激励光。这样以来，按照光信号的波长，可以减少使用的激励光源个数。

另外，在本实施例中，也可以设置带通滤波器来代替 AWG25。并且，也可以使用光环行器来代替光学玻璃 22₂。不仅是双方向激励，也可以是前方向激励，而且也可以后方向激励。激励光源单元 23₁、23₂各自包括的激励光源个数也可以相互不同。

10 (第 3 实施例)

下面，说明本发明的拉曼放大器的第 3 实施例。图 7 是第 3 实施例的拉曼放大器 3 的构成图。该拉曼放大器 3 包括拉曼放大用光纤 31、光学玻璃 32₁~32₄、激励光源单元 33₁、33₂、控制部 34、AWG35、光电元件 36 和 OTDR 部 37。

15 拉曼放大用光纤 31 分别由光学玻璃 32₁和光学玻璃 32₂供给拉曼放大用激励光，从光学玻璃 32₁向光学玻璃 32₂传播光信号，同时对该光信号进行拉曼放大。光学玻璃 32₁将由光学玻璃 32₄到达的光信号向拉曼放大用光纤 31 输出，同时也将从激励光源单元 33₁到达的拉曼放大用激励光向拉曼放大用光纤 31 输出。光学玻璃 32₂将从拉曼放大用光纤 31 到达的光信号向后级输出，同时将从激励光源单元 20 33₂到达的拉曼放大用激励光向拉曼放大用光纤 31 输出。

光学玻璃 32₃把大部分到达拉曼放大器 3 的光信号向光学玻璃 32₄输出，同时分支一部分向 AWG35 输出。AWG35 输入由光学玻璃 32₃到达的光信号并进行分波，输出分波后的各波长光信号。光电元件 36 接收 AWG35 输出的各波长光信号，输出与其受光量相应值的电信号。

OTDR 部 37 通过光学玻璃 32₄向拉曼放大用光纤 31 导入脉冲状的检查光，同时通过光学玻璃 32₄接收该检查光在以拉曼放大用光纤 31 传播时发生的后方散射光。OTDR 部 37 根据该接收的后方散射光

的时间变化,检测拉曼放大用光纤 31 的长度方向的损耗分布。该检查光的波长随光信号的波长而不同,并最好处于光信号波长间。

激励光源单元 33₁、33₂具有 N 个 ($N \geq 1$) 激励光源,从这 N 个激励光源输出的光作为拉曼放大用激励光而进行输出。各个激励光源输出光的波谱是非单峰型,或者,是可变的。控制 34 根据由 OTDR 部 37 检测出的拉曼放大用光纤 31 在长度方向的损耗分布和光电元件 36 输出的电信号,控制从激励光源单元 33₁、33₂输出的拉曼放大用激励光功率,或者控制波谱。另外,本实施例中的激励光源单元 33₁、33₂与利用图 2、图 3 和图 4A~图 4C 说明的单元相同。

接着,说明第 3 实施例的拉曼放大器 3 的工作。激励光源单元 33₁输出的拉曼放大用激励光经由光学玻璃 32₁供给拉曼放大用光纤 31。并且,激励光源单元 33₂输出的拉曼放大用激励光经由光学玻璃 32₂供给拉曼放大用光纤 31。即,激励光源单元 33₁、33₂和光学玻璃 32₁、32₂作为把拉曼放大用激励光供给拉曼放大用光纤 31 的拉曼放大用激励光供给装置来进行工作。

到达该拉曼放大器 3 的光信号,经过光学玻璃 32₃、32₄以后,射入拉曼放大用光纤 31。而且,光信号以拉曼放大用光纤 31 传播,同时在该传播之际进行拉曼放大,经光学玻璃 32₂后向后级输出。另外,理想的是,以拉曼放大用光纤 31 传播的光信号,在拉曼放大用光纤 31 的各地点是抑制发生非线性光学现象的有限功率。

到达该拉曼放大器 3 的一部分光信号,经由光学玻璃 32₃射入 AWG35 并用 AWG35 进行分波,用光电元件 36 检测各波长的光信号强度。即,光学玻璃 32₃、AWG35 和光电元件 36 作为检测输入该拉曼放大器 3 的光信号波长的光信号波长检测装置而进行工作。并且,采用 OTDR 部 37 检测拉曼放大用光纤 31 沿长度方向的损耗分布。

而且,借助于控制部 34,根据由 OTDR 部 37 检测出的拉曼放大用光纤 31 沿长度方向的损耗分布,分别控制从激励光源单元 33₁、33₂中包括的 N 个激励光源输出的拉曼放大用激励光的功率,进而控

制波谱的形状。这时，要控制拉曼放大用激励光的功率或波谱的形状，使得拉曼放大用光纤 31 中光信号的拉曼放大的增益波谱，在光信号波段内维持平坦而且恒定。

如上所述，在本实施例的拉曼放大器 3 中，激励光源单元 33₁、33₂ 中包括的 N 个激励光源输出光的波谱是非单峰型，或者，N 个激励光源输出的光的波谱是可变的。而且，通过根据由 OTDR 部 37 检测出的拉曼放大用光纤 31 沿长度方向的损耗分布，借助于控制部 34 控制拉曼放大用激励光的功率或波谱，使拉曼放大用光纤 31 中的光信号的拉曼放大增益波谱，在光信号波段内维持平坦而且恒定。

由于本实施例的拉曼放大器 3 采用具有上述这样的输出波谱的激励光源，与现有技术栏中举出的文献 1 比较，可以减少激励光源个数。因此，容易控制增益波谱的平坦化，并且价格变得便宜。在本实施例的拉曼放大器 3 就是不使用增益均衡器也能使增益波谱平坦，因而与现有技术栏的文献 2 比较，同样，控制增益波谱的平坦化也容易，而且激励效率优良。

并且，在本实施例中，根据由光学玻璃 32₃、AWG35 和光电元件 36 检测出的光信号波长，借助于控制部 34，分别控制激励光源单元 33₁、33₂ 中包括的 N 个激励光源是否输出拉曼放大用激励光。这样以来，按照光信号的波长，可以减少使用的激励光源个数。

另外，在本实施例中，也可以使用光环行器来代替光学玻璃 32₂。并且，不仅是双方向激励，也可以是前方向激励，而且也可以后方向激励。激励光源单元 33₁、33₂ 各自包括的激励光源个数也可以相互不同。

(第 4 实施例)

下面，说明本发明的拉曼放大器的第 4 实施例。图 8 是第 4 实施例的拉曼放大器 4 的构成图。该拉曼放大器 4 包括拉曼放大用光纤 41、光学玻璃 42₁~42₃、激励光源单元 43₁、43₂、控制部 44 和光电元件 46。该拉曼放大器 4 就是使用于除传播光信号以外也传播导频 (pilot) 信号的光通信系统中。该导频信号的波长与光信号的波

长不同，但是其波长最好在光信号波长之间。

拉曼放大用光纤 41 分别由光学玻璃 42₁ 和光学玻璃 42₂ 供给拉曼放大用激励光，从光学玻璃 42₁ 向光学玻璃 42₂ 传播拉曼放大用激励光和导频光，同时对这些光和导频光进行拉曼放大。光学玻璃 42₁ 把到达拉曼放大器 4 的光信号向拉曼放大用光纤 41 输出，同时也将从激励光源单元 43₁ 到达的拉曼放大用激励光向拉曼放大用光纤 41 输出。光学玻璃 42₂ 将从拉曼放大用光纤 41 到达的光信号向光学玻璃 42₃ 输出，同时将从激励光源单元 43₂ 到达的拉曼放大用激励光向拉曼放大用光纤 41 输出。

10 光学玻璃 42₃ 将从光学玻璃 42₂ 到达的光信号和大部分的导频光向后级输出，同时分支导频光的一部分向光电元件 46 输出。光电元件 46 接收从光学玻璃 42₃ 到达的导频光，并输出与其受光量相应值的电信号。

15 激励光源单元 43₁、43₂ 具有 N 个 ($N \geq 1$) 激励光源，并输出这些激励光源输出的光作为拉曼放大用激励光。各个激励光源输出光的波谱是非单峰型，或是可变的。控制部 44 根据光电元件 46 输出的电信号，控制激励光源单元 43₁、43₂ 输出的拉曼放大用激励光的功率，或者控制其波谱。另外，本实施例中的激励光源单元 43₁、43₂ 是与使用图 2、图 3 和图 4A ~ 图 4C 说过的激励光源单元同样。

20 接着，说明第 4 实施例的拉曼放大器 4 的工作。从激励光源单元 43₁ 输出的拉曼放大用激励光经由光学玻璃 42₁ 供给拉曼放大用光纤 41。并且，从激励光源单元 43₂ 输出的拉曼放大用激励光经由光学玻璃 42₂ 供给拉曼放大用光纤 41。即，激励光源单元 43₁、43₂ 和光学玻璃 42₁、42₂ 作为将拉曼放大用激励光供给拉曼放大用光纤 41 的拉曼放大用激励光供给装置进行工作。

25 到达该拉曼放大器 4 的光信号和导频光经过光学玻璃 42₁ 以后，射入到拉曼放大用光纤 41 中。而且，光信号和导频光都以拉曼放大用光纤 41 传播，在该传播之际进行拉曼放大，并经由光学玻璃 42₂ 和光学玻璃 42₃ 之后向后级输出。另外，理想的是以拉曼放大用光纤



41 传播的光信号和导频信号,在拉曼放大用光纤 41 的各地点是能抑制发生非线性光学现象的有限功率。

以拉曼放大用光纤 41 传播后的一部分导频光经由光学玻璃 42₃ 射入光电元件 46,借助于光电元件 46 检测导频光的强度。即,光学
5 玻璃 42₃ 和光电元件 46 作为检测以拉曼放大用光纤 41 传播后的导频光强度的导频光强度检测装置进行工作。

而且,借助于控制部 44,根据光电元件 46 检测出的导频光强度,控制分别从激励光源单元 43₁、43₂ 中包括的 N 个激励光源输出的拉曼放大用激励光的功率,进而控制其波谱的形状。这时,控制拉曼
10 放大用激励光的功率或波谱的形状,使得拉曼放大用光纤 41 中光信号的拉曼放大增益波谱,在光信号波段内维持平坦而且恒定。

如上所述,在本实施例的拉曼放大器 4 中,激励光源单元 43₁、43₂ 中包括的 N 个激励光源输出光的波谱是非单峰型,或者, N 个激励光源输出光的波谱是可变的。而且,根据用光电元件 46 检测出的
15 导频光的强度,通过用控制部 44 控制拉曼放大用激励光的功率或波谱,使拉曼放大用光纤 41 的光信号的拉曼放大增益波谱,在光信号波段内维持平坦而且恒定。

通过本实施例的拉曼放大器 4 采用具有上述这样的输出波谱的激励光源,与现有技术栏中举出的文献 1 的拉曼放大器比较,可以
20 减少激励光源个数。因此,容易控制增益波谱的平坦化,并且价格变得便宜。在本实施例的拉曼放大器 4 就是不使用增益均衡器也能使增益波谱平坦,因而与现有技术栏的文献 2 的拉曼放大器比较,同样,控制增益波谱的平坦化也容易,并且,激励效率优良。

另外,在本实施例中,也可以使用带通滤波器来代替光学玻璃
25 42₂。并且,不仅是双方向激励,也可以是前方向激励,而且也可以后方向激励。并且,激励光源单元 43₁、43₂ 各自包括的激励光源个数也可以相互不同。

(第 5 实施例)

下面,说明本发明的拉曼放大器的第 5 实施例。图 9 是第 5 实

施例的拉曼放大器 5 的构成图。该拉曼放大器 5 包括拉曼放大用光纤 51、光学玻璃 52₁~52₄、激励光源单元 53₁、53₂、控制部 54 和光电元件 56₁、56₂。

拉曼放大用光纤 51 分别由光学玻璃 52₁ 和光学玻璃 52₂ 供给拉曼放大用激励光，从光学玻璃 52₁ 向光学玻璃 52₂ 传播光信号，同时对
5 该光信号进行拉曼放大。光学玻璃 52₁ 把从光学玻璃 52₃ 到达的光信号向拉曼放大用光纤 51 输出，同时也把从激励光源单元 53₁ 到达的拉曼放大用激励光向拉曼放大用光纤 51 输出。光学玻璃 52₂ 把从拉曼放大用光纤 51 到达的光信号向光学玻璃 52₄ 输出，同时把从激励
10 光源单元 53₂ 到达的拉曼放大用激励光向拉曼放大用光纤 51 输出。

光学玻璃 52₃ 将到达拉曼放大器 5 的大部分光信号向光学玻璃 52₁ 输出，同时将一部分光信号向光电元件 56₁ 输出。光电元件 56₁ 接收从光学玻璃 52₃ 到达的光信号，并输出与其受光量相应值的电信号。并且，光学玻璃 52₄ 将从光学玻璃 52₂ 到达的大部分光信号向后
15 级输出，同时将一部分光信号向光电元件 56₂ 输出。光电元件 56₂ 接收从光学玻璃 52₄ 到达的光信号，并输出与其受光量相应值的电信号。

激励光源单元 53₁、53₂ 具有 N 个 ($N \geq 1$) 激励光源，并输出从这些激励光源输出的光作为拉曼放大用激励光。各个激励光源输出
20 光的波谱是非单峰型，或者是可变的。控制部 54 根据光电元件 56₁、56₂ 输出的电信号，控制从激励光源单元 53₁、53₂ 输出的拉曼放大用激励光的功率，或者控制其波谱。另外，本实施例中的激励光源单元 53₁、53₂ 是与使用图 2、图 3 和图 4A~图 4C 说过的激励光源单元同样。

接着，说明第 5 实施例的拉曼放大器 5 的工作。从激励光源单元 53₁ 输出的拉曼放大用激励光经由光学玻璃 52₁ 供给拉曼放大用光纤 51。并且，从激励光源单元 53₂ 输出的拉曼放大用激励光经由光学玻璃 52₂ 供给拉曼放大用光纤 51。即，激励光源单元 53₁、53₂ 和光学玻璃 52₁、52₂ 作为将拉曼放大用激励光供给拉曼放大用光纤 51
25

的拉曼放大用激励光供给装置进行工作。

到达该拉曼放大器 5 的光信号经由光学玻璃 52₃ 和 52₁ 以后，射入到拉曼放大用光纤 51 中。而且，光信号以拉曼放大用光纤 41 传播，同时在该传播之际进行拉曼放大，并经由光学玻璃 52₂ 和光学玻璃 52₄ 之后向后级输出。另外，理想的是以拉曼放大用光纤 51 传播的光信号，在拉曼放大用光纤 51 的各地点是能抑制发生非线性光学现象的有限功率。

到达该拉曼放大器 5 的一部分光信号经由光学玻璃 52₃ 射入光电元件 56₁，借助于光电元件 56₁ 检测输入光信号的强度。即，光学玻璃 52₃ 和光电元件 56₁ 作为检测输入拉曼放大用光纤 51 的功率后的输入光信号强度检测装置进行工作。并且，从该拉曼放大器 5 输出的一部分光信号经由光学玻璃 52₄ 射入到光电元件 56₂，借助于光电元件 56₂ 检测输出光信号功率。即，光学玻璃 52₄ 和光电元件 56₂ 作为检测从拉曼放大用光纤 51 输出的光信号功率的输出光信号功率检测装置进行工作。

而且，借助于控制部 54，根据光电元件 56₁ 检测出的输入光信号功率和借助于光电元件 56₂ 检测出的输出光信号功率，控制分别从激励光源单元 53₁、53₂ 中包括的 N 个激励光源输出的拉曼放大用激励光的功率，进而控制其波谱的形状。这时，控制拉曼放大用激励光的功率或波谱的形状，使得拉曼放大用光纤 41 中光信号的拉曼放大增益波谱，在光信号波段内维持平坦而且恒定。

如上所述，在本实施例的拉曼放大器 5 中，激励光源单元 53₁、53₂ 中包括的 N 个激励光源输出光的波谱是非单峰型，或者，N 个激励光源输出光的波谱是可变的。而且，根据输入光信号功率和输出光信号功率，通过用控制部 54 控制拉曼放大用激励光的功率或波谱，使拉曼放大用光纤 51 的光信号的拉曼放大增益波谱，在光信号波段内维持平坦而且恒定。

通过本实施例的拉曼放大器 5 采用具有上述这样的输出波谱的激励光源，与现有技术栏中举出的文献 1 的拉曼放大器比较，可以

减少激励光源个数。因此，容易控制增益波谱的平坦化，而且价格变得便宜。本实施例的拉曼放大器 5 就是不使用增益均衡器也能使增益波谱平坦，因而与现有技术栏的文献 2 的拉曼放大器比较，同样，控制增益波谱的平坦化也容易，并且，激励效率优良。

5 另外，在本实施例中，也可以使用带通滤波器来代替光学玻璃 52₂。并且，不仅是双方向激励，也可以是前方向激励，而且也可以后方向激励。并且，激励光源单元 53₁、53₂ 各自包括的激励光源个数也可以相互不同。

(第 6 实施例)

10 下面，说明本发明的拉曼放大器的第 6 实施例。图 10 是第 6 实施例的拉曼放大器 6 的构成图。该拉曼放大器 6 包括拉曼放大用光纤 61、光学玻璃 62、激励光源单元 63、控制部 64 和光单向波导 67。

拉曼放大用光纤 61 由光学玻璃 62 供给拉曼放大用激励光，从光单向波导 67 向光学玻璃 62 传输光信号，同时对该光信号进行拉曼放大。光单向波导 67 仅正向通过光而反向不能通过光。光学玻璃 15 62 把从激励光源单元 63 到达的拉曼放大用激励光向后级输出，同时把从激励光源单元 63 到达的拉曼放大用激励光向拉曼放大用光纤 61 输出。

激励光源单元 63 就是输出向拉曼放大用光纤 61 供给的拉曼放大用激励光，并具有添加 Er 元素的光纤放大器 (EDFA: Erbium-Doped Fiber Amplifier) 631 和 632 及光滤波器 633。EDFA631 包括掺 Er 元素光纤 (EDF: Erbium-Doped Fiber) 631a、光学玻璃 20 631b 和激励光源 631c。并且，EDFA632 包括 EDF632a、光学玻璃 632b 和激励光源 632c。

25 EDF631a、632a 是光波导区域中添加用作稀土元素的 Er 元素的光纤，供给波长 1.48 μm 或 0.98 μm 的激励光时，激发 Er 元素并产生波长 1.55 μm 波段的自然发射光。自然发射光的波谱依赖于添加到 EDF631a、632a 的 Er 元素和其它元素 (例如 Al 元素) 的浓度。激励光源 631c、632c 是激发 Er 元素得到输出波长 1.48 μm 或 0.98

μm 的激励光的激励光源。光学玻璃 631b、632b 将从激励光源 631c、632c 输出的激励光供给 EDF631a、632a，并且，把由 EDF631a、632a 发射的自然发射光作为拉曼放大用激励光朝向光学玻璃 62 使其通过。光滤波器 633 被插入到 EDFA631 和 EDFA632 之间，对拉曼放大用光纤 61 调整作为拉曼放大用激励光供给的自然发射光的波谱。

控制部 64 通过控制从激励光源 631c、632c 输出的激励光的功率，控制从激励光源 631c、632c 输出的拉曼放大用激励光功率或波谱。进而，控制部 64 即使是控制光滤波器 633 的损耗波谱，也可以控制拉曼放大用激励光的功率或波谱。

另外，该控制之时，例如，与第 1 实施例的情况同样，根据以拉曼放大用光纤 61 传播以后的残留拉曼放大用激励光的功率、与第 2 实施例的情况同样，根据以拉曼放大用光纤 61 传播以后的光信号波长、与第 3 实施例的情况同样，根据拉曼放大用光纤 61 长度方向的损耗分布、与第 3 实施例的情况同样，根据导频光的强度、或与第 3 实施例的情况同样，根据输入光信号功率和输出光信号功率，适当控制拉曼放大用激励光的功率或波谱。

接着，说明第 6 实施例的拉曼放大器 6 的工作。在 EDFA631 中，从激励光源 631c 输出的激励光，经由光学玻璃 631b 供给 EDF631a。同样，在 EDFA632 中，从激励光源 632c 输出的激励光，经由光学玻璃 632b 供给 EDF632a。

如向前级的 EDFA632 的 EDF632a 供给激励光，该 EDF632a 中就发生自然发射光。该 EDF632a 中就发生自然发射光，经由光学玻璃 632b 输入到光滤波器 633，通过该光滤波器 633 调整波谱，输入到后级的 EDFA631 的 EDF631a。

如向后级的 EDFA631 的 EDF631a 供给激励光，而且通过光滤波器 633 的自然发射光输入到 EDF631a 中，则在该 EDF631a 中光放大通过光滤波器 633 的自然发射光，同时发射新的自然发射光。EDF631a 中放大或新发生的自然发射光，经由光学玻璃 631b 和光学玻璃 62，就作为拉曼放大用激励光供给拉曼放大用光纤 61。

就是，激励光源单元 63 和光学玻璃 62，作为向拉曼放大用光纤 61 供给拉曼放大用激励光（波长 $1.55\mu\text{m}$ 波段）的拉曼放大用激励光供给装置进行工作。并且，从该激励光源单元 63 供给拉曼放大用光纤 61 的拉曼放大用激励光是用 EDF631a、632a 发生的自然发射光，因此具有广波段的波谱。

另一方面，到达拉曼放大器 6 的光信号（波长 $1.65\mu\text{m}$ 波段），经过光单向波导 67 以后射入到拉曼放大用光纤 61 中。而且，光信号以拉曼放大用光纤 61 传播，同时该传播之际进行放大，经由光学玻璃 62 向后级输出。还有，以拉曼放大用光纤 61 传播的光信号理想的是在拉曼放大用光纤 61 的各地点具有抑制发生非线性光学现象的有限功率。

而且，借助于控制部 64，控制分别从激励光源单元 63 中包括的激励光源单元 631c、632c 中输出的激励光功率，或者进而控制光滤波器 633 的损耗波谱，控制供给拉曼放大用光纤 61 的拉曼放大用激励光的功率，进而控制波谱的形状。这时，控制拉曼放大用激励光的功率或波谱的形状，使得拉曼放大用光纤 61 中光信号的拉曼放大增益波谱，在光信号波段内维持平坦而且恒定。

如上所述，在本实施例的拉曼放大器 6 中，从激励光源单元 63 输出拉曼放大用激励光具有高波段的波谱。而且，通过控制激励光源 631c、632c 的输出功率（进而控制光滤波器 633 的损耗波谱），用控制部 54 控制拉曼放大用激励光的波谱。因此，使拉曼放大用光纤 61 中的光信号的拉曼放大增益波谱，在光信号波段内可维持平坦而且恒定。

通过本实施例的拉曼放大器 6 采用具有上述这样的输出波谱的激励光源，与现有技术栏中举出的文献 1 的拉曼放大器比较，可以减少激励光源个数，因此容易控制增益波谱的平坦化。本实施例的拉曼放大器 6 就是不使用增益均衡器也能使增益波谱平坦，因而与现有技术栏的文献 2 的拉曼放大器比较，同样，容易控制增益波谱的平坦化。

另外，在本实施例中，也可以使用带通滤波器来代替光学玻璃
62. 并且，不仅后方向激励，也可以前方向激励，而且也可以双向
激励。并且，也可以采用添加其它稀土元素（例如，Nd 元素、Pr
元素等）的光纤来代替 EDF631a、632a，这时，使用输出激发其稀
5 土元素而得到的波长的激励光光源作为激励光源 631c、632c。

本发明并不限于上述实施例而可能是各种各样的变形。例如，
除上述的各个依赖的拉曼放大器外，也可以是使用添加稀土元素的
光纤放大器（最好是掺 Er 光纤放大器）对光信号进行光放大。

如以上详细说明，倘若采用本发明，则拉曼放大用激励光供给
10 装置中包括的 N 个激励光源输出光的波谱是非单峰型，或者，借助
于控制装置可控制波谱变化，因此与现有的情况比较，可以减少激
励光源的个数，也容易控制增益波谱。并且，该拉曼放大器即便不
使用增益均衡器也可使增益波谱平坦化，而且这一点上，与以往相
比容易控制增益波谱的平坦化。

15 通过分别从 N 个激励光源输出的拉曼放大用激励光功率或波谱
控制装置，例如，可以按照用残留激励光功率检测装置测得的拉曼
放大用激励光功率、按照光信号强度检测装置测得的各波长的光信
号强度、按照用光纤损耗分布检测装置测得的拉曼放大用光纤长度
方向的损耗分布、按照导频光强度检测装置测得的导频光强度、按
20 照输入光信号功率和输出光信号功率，或按照用光信号波长检测装
置测得的光信号波长进行控制。因此，可使拉曼放大用光纤中的光
信号的拉曼放大增益波谱，在光信号波段内维持平坦而且恒定。

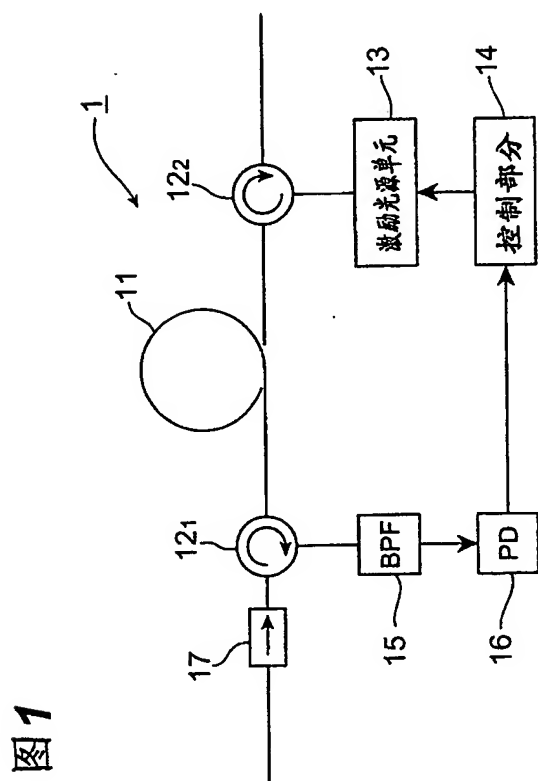


图1

01.07.20

图 2

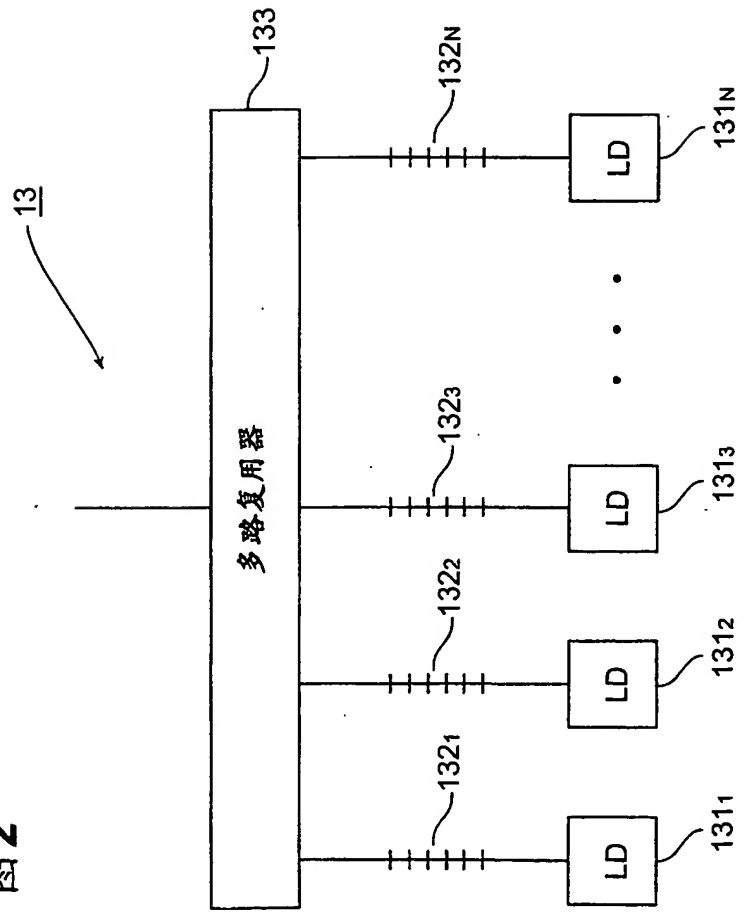
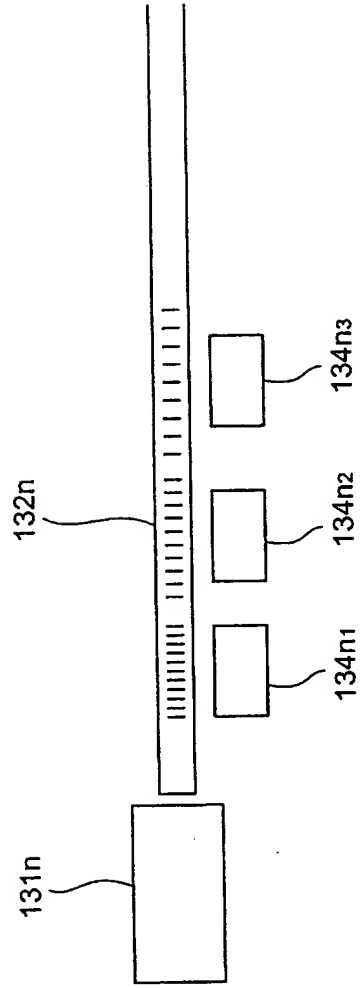


图3



01.07.20

图4A

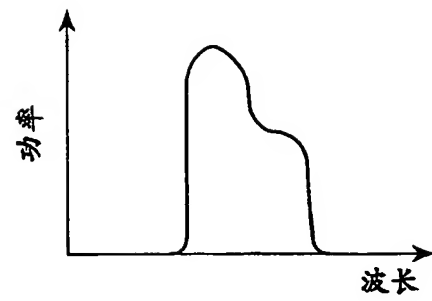


图4B

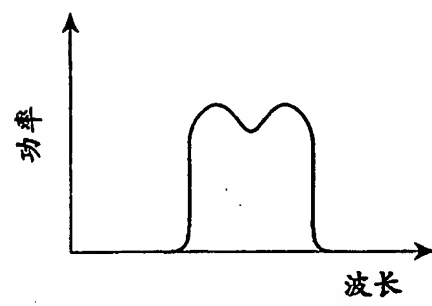


图4C

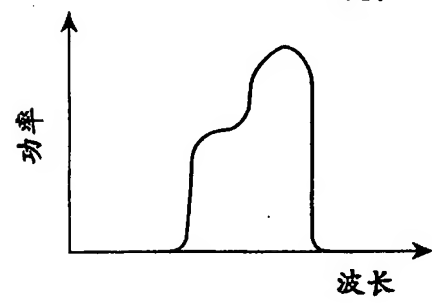


图5A

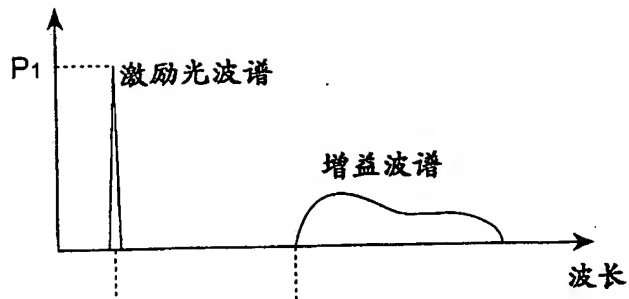


图5B

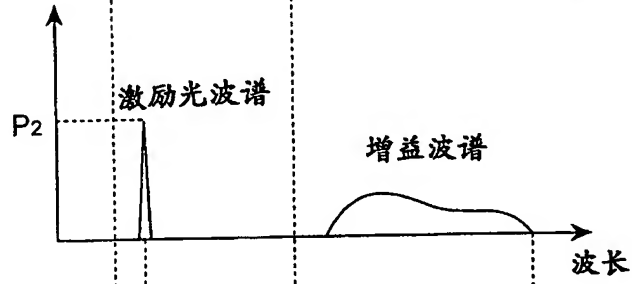


图5C

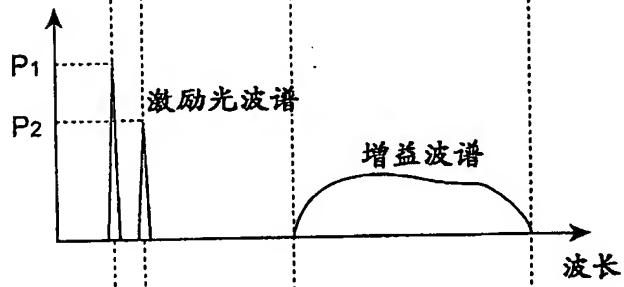
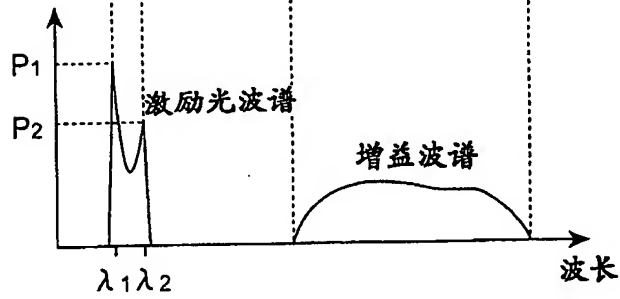


图5D



01.07.20

图6

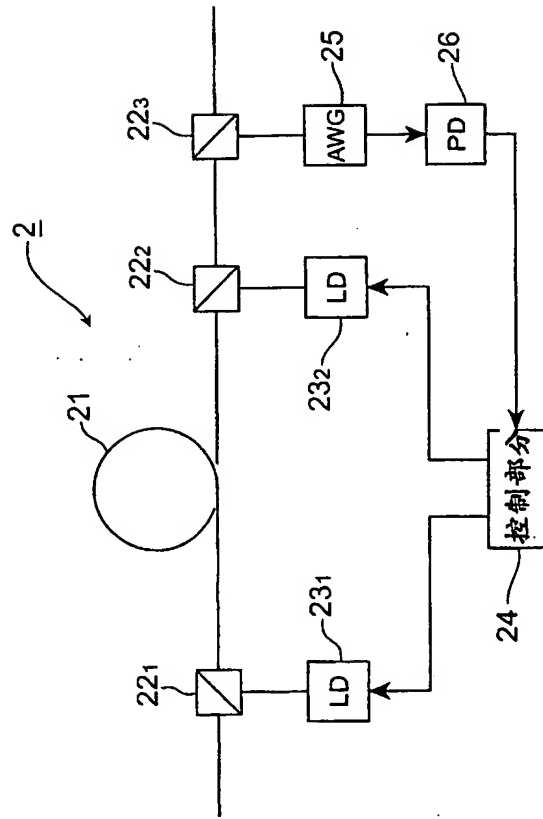
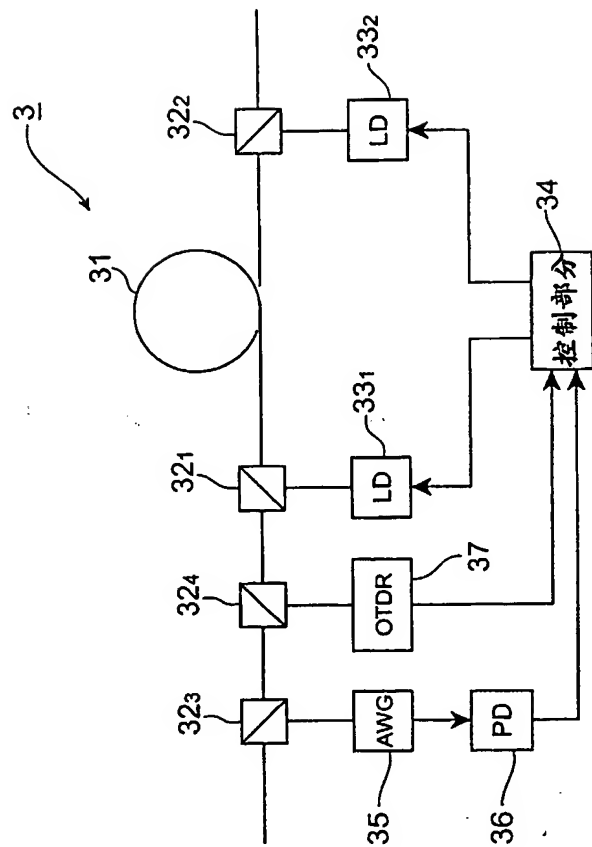


图7



01.07.20

图8

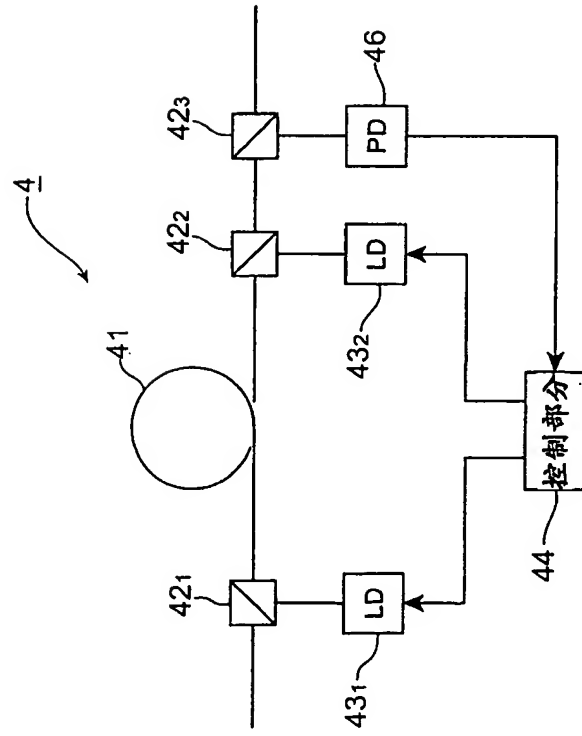
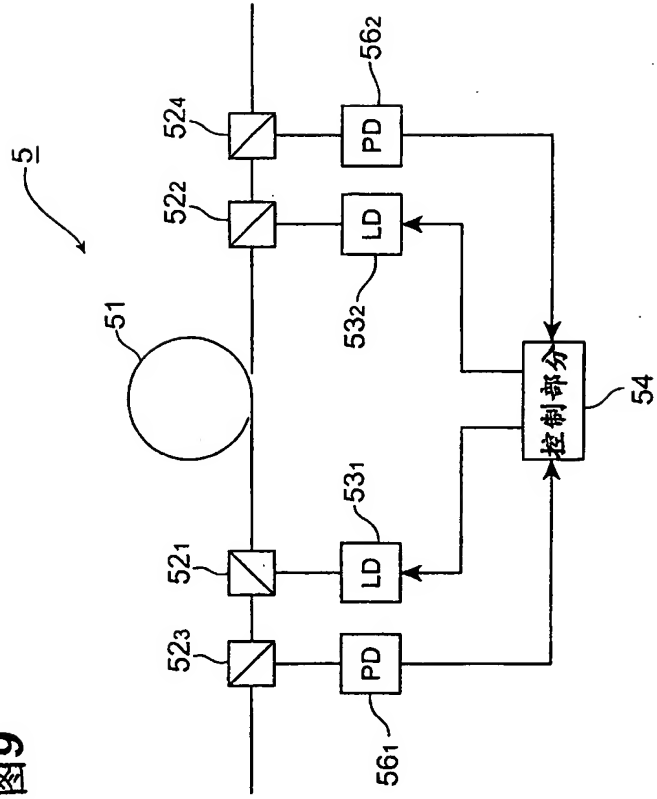
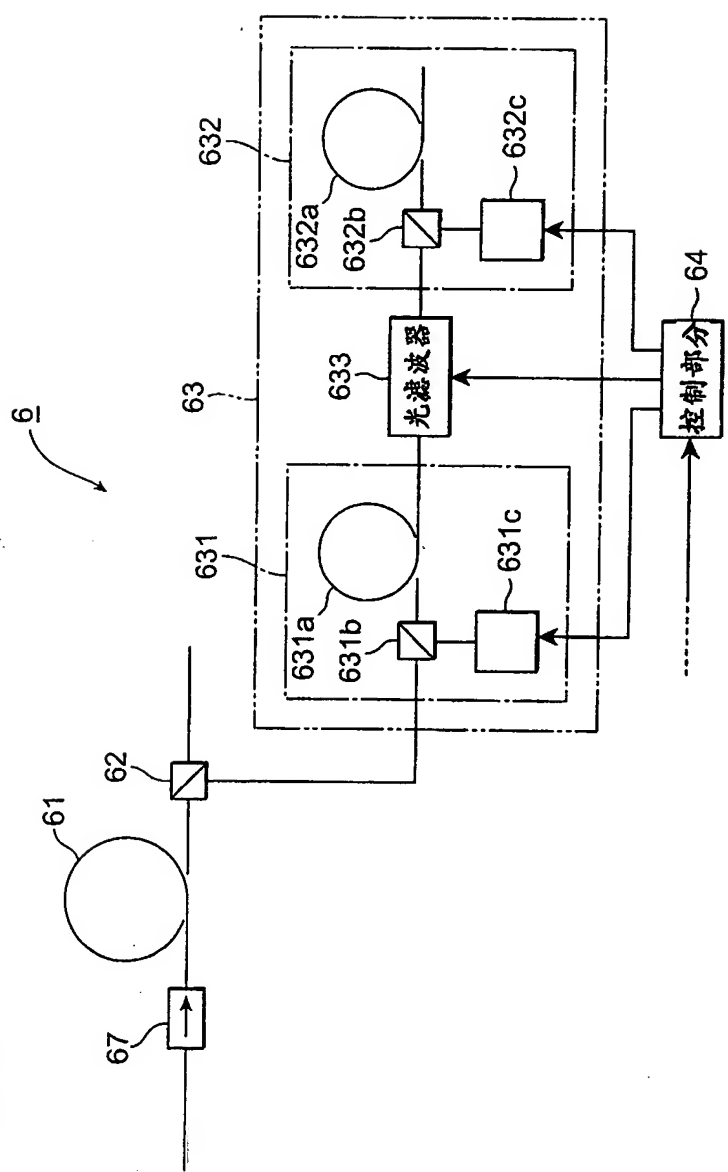


图9



01.07.20

图10



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.